

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Tetsu KACHI, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DIODE

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number _____, filed _____, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
Application No. _____ Date Filed _____

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-214322	July 23, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. _____ filed _____
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number _____
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. _____ filed _____; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s) _____
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913



22850

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年 7月23日

出願番号
Application Number:

特願2002-214322

[ST.10/C]:

[JP2002-214322]

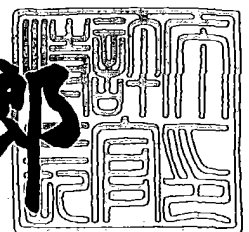
出願人
Applicant(s):

株式会社豊田中央研究所

2003年 4月18日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3027972

【書類名】 特許願

【整理番号】 K02-147

【提出日】 平成14年 7月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/24

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
 式会社豊田中央研究所内

 【氏名】 加地 徹

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
 式会社豊田中央研究所内

 【氏名】 加藤 寛

【特許出願人】

 【識別番号】 000003609

 【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

【代理人】

 【識別番号】 110000110

 【氏名又は名称】 特許業務法人 快友国際特許事務所

 【代表社員】 小玉 秀男

 【電話番号】 052-588-3361

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 172662

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 0207894

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒化物半導体からなる活性層と、出射部を備え、

活性層を挟んだ両側の位置のうち、出射部が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡が形成されており、

その反射鏡は、活性層中心から概ね $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の位置 (λ : 活性層から出射される光の波長、 n : 活性層と反射鏡の間の領域の平均の屈折率、 k : 整数) に形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記反射鏡が、活性層に電流を流すために用いられる電極と兼用されていることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記出射部上に形成された凸状のレンズをさらに備えたこと特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】 窒化物半導体からなる活性層と、一对の電極を備え、一方の電極からこれに対向する活性層を経由して他方の電極に至る構造の発光素子であり、
平面視したときに、一方の電極が他方の電極に取囲まれていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】 平面視したときに、一对の電極の中心位置が概ね等しいことを特徴とする請求項 4 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】 窒化物半導体からなる活性層と、一对の電極を備え、一方の電極からこれに対向する活性層を経由して他方の電極に至る構造の発光素子であり、
一方の電極の側周全体が曲状に形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体からなる活性層を備えた窒化物半導体発光ダイオード（以下適宜「発光ダイオード」と略す）が知られている。発光ダイオードの

活性層からの出射光は、球面波となって四方八方に広がり、コサイン則に従って図 2 2 のような強度分布を示し、本来的には指向性を持たない。

従来の発光ダイオードはディスプレイ等への表示用のものが殆どであり、出射光の指向性を高めることはあまり要求されず、それよりも視認性に主眼を置いた構造となっている。

具体的には、活性層を挟んだ両側の位置のうち、出射部が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡が形成された構造の発光ダイオードが存在する。この発光ダイオードでは、活性層から出射部と反対側に発光した光を反射鏡によって出射部側に反射することで、指向性を若干高めながらも、高い視認性を確保している。また、レンズを内蔵した透明樹脂モールドを備えた発光ダイオードが知られている。この発光ダイオードでは、透明樹脂モールドに内蔵されたレンズによって、指向性を若干高めながらも、高い視認性を確保している。

このように、従来の発光ダイオードは、高い視認性を確保することに主眼を置いているため、指向性が低く、出射光の広がり大きい。

【 0 0 0 3 】

また、従来の発光ダイオードでは、図 2 3 に示すように活性層に電流を流すために用いられる一方の電極 1 3 8 が矩形状となっている。また、他方の電極 1 2 8 は略半円状となっており、この略半円状の電極 1 2 8 の一部を囲むように矩形状電極 1 3 8 の一部が半円状に切り欠かれた構造となっている。このように、電極 1 3 8 が矩形状となっているのは、従来の発光ダイオードの殆どは表示用に用いられるので発光面積を大きくしたいためと、発光ダイオードをチップに分離する際に通常はへき開等によるのでチップが矩形状となるためである。即ち、矩形状のチップにおいて発光面積が大きくなるように電極を形成しようとする、電極も矩形状のチップに沿って矩形状とするのが妥当だからである。

【 0 0 0 4 】

このように、従来の窒化物発光ダイオードは表示用のものが殆どであり、光通信（光通信の光源）に殆ど用いられていなかったのは、光通信の光源には、高出力で指向性の高い半導体レーザ等が用いられていたからである。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、短距離の光通信においては、共振器構造を有し高出力の半導体レーザ等を用いなくても、共振器構造を有しない発光ダイオードで足りる場合も多い。発光ダイオードは半導体レーザに比べて構造がシンプルであり、製造工程も簡素化でき、安価である。よって、短距離の光通信の光源として、半導体レーザに代えて共振器構造を有しない発光ダイオードを用いるメリットは大きい。

特に近年は、プラスチック光ファイバ（POF: Plastic Optical Fiber、以下適宜「POF」という）を用いた短距離の光通信が行われつつある。POFは石英ガラスの光ファイバに比べて（１）安価であり、（２）接続が容易である等の理由から、短距離の光通信に用いられつつある。このような短距離の光通信に用いられるPOFは、可視光域の透過率が高く、可視光域の光に対しては低損失であるため、青色や緑色の発光が実現されている窒化物半導体発光ダイオードは、POFの光源として適している。なお、このような窒化物半導体においては、高品質の結晶成長が困難等の理由から、窒化物半導体を用いた青色や緑色の半導体レーザは未だ実用化には至っていないのが現状である。

【0006】

しかしながら、従来の窒化物半導体発光ダイオードは表示用の目的で作られているため、上記したように指向性が低い。一方、POFに代表される光ファイバに入射できる光は、光ファイバの構造で決まる光ファイバの入射角の範囲（POFの場合は一般には概ね±15度程度）内の光のみである。よって、従来の発光ダイオードからの出射光を光ファイバに入射しようとする、発光ダイオードからの出射光が光ファイバの入射角の範囲外にまで大きく広がってしまい、発光ダイオードからの出射光を光ファイバに入射できない割合が大きくなってしまふ。即ち、従来の指向性の低い構造の発光ダイオードを光通信の光源に用いると、光ファイバへの結合率が低くなってしまふ。

【0007】

また、従来の窒化物半導体発光ダイオードの電極構造は、上記した図23のようになっている。図24に、図23の電極構造を持つ従来の発光ダイオードの発光強度分布を数値的に示す。このような電極構造では、電極138の全面に均等

な密度で電流が流れずに、電極 1 3 8 のうちでも、対向電極 1 2 8 との距離が短い領域の方が抵抗が低いので電流密度が高くなり、発光強度が高くなる。また、角部の方が電界が集中し易いため、電流密度が高くなり、発光強度が高くなる。図 2 4 に示すように、電極 1 3 8 のうち対向電極 1 2 8 との距離が近い領域の中でも、角部の領域の方が発光強度が高くなっていることがわかる。

特に光通信のように光を強度変調して用いる場合、過渡的な挙動が重要となるが、はじめに電流の流れ易い領域に電流が流れると、その領域の抵抗が低くなるため、さらにその領域に電流が流れ易くなるという現象が生じ易い。

【0 0 0 8】

このように、従来の発光ダイオードの構造によると、電極 1 3 8（これに対向する活性層）のうち図 2 4 の左半分の領域に流れる電流と、右半分の領域に流れる電流の大きさに偏り（非対称的な偏り）が生じる結果、発光強度も同様に非対称的な偏りが生じる。

この結果、図 2 5 に示すように、活性層の左半分の領域と右半分の領域からの放射分布も偏り（非対称的な偏り）が生じるので、活性層の左半分の領域からの出射光については、符号 1 0 6 に示すように、光ファイバの入射角の範囲外に放射される量が大きくなってしまう。このことが、発光ダイオードからの出射光が光ファイバに入射される割合、即ち、光ファイバへの結合効率を低くする要因となってしまう。

【0 0 0 9】

本発明は、窒化物半導体発光素子からの出射光を所定範囲内に入射する割合を向上させることができる技術を実現することを目的とする。

この技術が実現できると、POF等の光ファイバへの結合効率を向上させることができるという効果が得られる。

【0 0 1 0】

【課題を解決するための手段及び作用と効果】 本発明を具現化した窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体からなる活性層と、出射部を備えている。そして、活性層を挟んだ両側の位置のうち、出射部が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡が形成されている。その反射鏡は、活性層中心から概ね $(k\lambda/2 + \lambda/$

4) λ/n の位置 (λ : 活性層から出射される光の波長、 n : 活性層と反射鏡の間の領域の平均の屈折率、 k : 整数) に形成されている (請求項 1)。

【0011】

この発光素子は、活性層を挟んだ両側の位置のうち、出射部が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡が形成され、しかも、その反射鏡と活性層中心の間隔が上記のように設定されていることを大きな特徴とするものである。

反射鏡と活性層中心の間隔が上記のように設定されていると、活性層の一方の側から垂直に出射した光は、活性層の他方の側から垂直に出射し、反射鏡で反射した光と干渉によって強め合う。一方、活性層の一方の側から所定の出射角で斜めに出射した光は、活性層の他方の側から所定の出射角で斜めに出射し、反射鏡で反射した光と干渉によって弱め合う。この結果、従来の発光ダイオードに比べて、出射部からの出射光の広がりを大幅に狭めることができ、指向性を大幅に高めることができる。このため、出射部からの出射光を所定範囲内に入射する割合を高くすることができる。

【0012】

従って、この発光素子によると、POF等の光ファイバの入射角の範囲内に入射される光の割合を向上させることができる。即ち、この発光素子によると、光ファイバとの結合効率を向上させることができるという効果が得られる。

本発明の発光素子は、活性層を挟んだ両側の位置のうち、出射部が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡が形成された従来の発光素子に対して、反射鏡と活性層中心の間隔が上記のように設定されている点で、特に大きく異なる。

【0013】

ここで、上記した「活性層中心から概ね $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の位置」には、活性層中心から $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の土約 10% 以内の位置が含まれる。このような位置に反射鏡が形成されていても、本発明の作用効果を得ることができる。

【0014】

前記反射鏡が、活性層に電流を流すために用いられる電極と兼用されていることが好ましい (請求項 2)。

このように、反射鏡と電極を兼用させることで、指向性を十分に高めることができる。できながらも、構造がシンプルで製造の容易な発光素子を実現できる。

【0015】

前記出射部上に形成された凸状のレンズをさらに備えていることが好ましい（請求項3）。

この構成によると、出射部に達した光をさらに集光できるので、指向性をさらに高めることができる。従って、光ファイバとの結合効率をさらに向上させることができる。

【0016】

本発明を具現化した他の窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体からなる活性層と、一对の電極を備え、一方の電極からこれに対向する活性層を経由して他方の電極に至る構造を有する。そして、平面視したときに、一方の電極が他方の電極に取囲まれている（請求項4）。

【0017】

この発光素子によると、平面視したときに、一方の電極が他方の電極に取囲まれているので、一方の電極（これに対向する活性層）に流れる電流分布の非対称的な偏りの発生を抑えることができる。例えば、図24に示す従来の発光ダイオードで生じていたような矩形電極138（活性層）の右半分の領域と左半分の領域での電流分布の偏り（非対称的な偏り）の発生を抑えることができる。よって、従来の発光ダイオードで生じていたような、発光強度分布ひいては出射光の放射分布の非対称的な偏りの発生も抑えることができる。

このため、発光ダイオードからの出射光を所定範囲内に入射する割合を向上させることができる。従って、発光ダイオードからの出射光が光ファイバに入射される割合、即ち、光ファイバへの結合効率を向上させることができる。

【0018】

平面視したときに、一对の電極の中心位置が概ね等しいことが好ましい（請求項5）。

この構成によると、一方の電極（これに対向する活性層）に流れる電流分布の偏りをより小さく抑えることができる。

【 0 0 1 9 】

平面視したときに、他方の電極の内周及び／又は外周の形状が、一方の電極の形状と相似形になっていることが好ましい。例えば、平面視したときに一方の電極の形状が多角形である場合は、他方の電極の内周及び／又は外周の形状もその多角形と相似形の多角形であることが好ましい。

この場合、一方の電極（これに対向する活性層）に流れる電流分布の非対称的な偏りをより小さく抑えることができる。このため、発光ダイオードからの出射光を所定範囲内に入射する割合をより向上させることができる。

【 0 0 2 0 】

本発明を具現化した他の窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体からなる活性層と、一对の電極を備え、一方の電極からこれに対向する活性層を経由して他方の電極に至る構造を有する。そして、一方の電極の側周全体が曲状に形成されている（請求項6）。

この発光素子によると、一方の電極の側周全体に角部が形成されていないので、電極の角部に電界が集中し、その電極の角部（これに対向する活性層の部位）にのみ電流が大きく流れるという事態を回避できる。よって、活性層に流れる電流分布の非対称的な偏りの発生を小さく抑えることができる。このため、発光ダイオードからの出射光を所定範囲内に入射する割合をより向上させることができる。

【 0 0 2 1 】

特に好適な一態様としては、平面視したときに、一方の電極は円形状であり、他方の電極はその円形状の一方の電極を取囲むとともにその円形状の一方の電極と内周及び外周の形状が相似形の輪状であり、両電極の中心位置が概ね等しいことが好ましい。

この構成によると、一方の電極（これに対向する活性層）に流れる電流分布は、一方の電極の中心からの径が同じ輪状部では等しい電流値となるように放射状に変化する分布となる。従って、この構成によると、活性層に流れる電流分布の非対称的な偏りをほぼ生じないようにすることができる。このため、発光ダイオードからの出射光を所定範囲内に入射する割合をよりさらに向上させることがで

きる。

【0022】

【発明の実施の形態】 図1に本発明の実施形態の発光ダイオードの概略断面図を示し、図2にその概略平面図を示す。

この発光ダイオードは、基板22と、層構造23と、p電極38と、n電極28と、シリコン酸化膜40と、レンズ20を備えている。

層構造23は、基板22上に順に積層されたバッファ層24、n型コンタクト層26、n型クラッド層30、活性層32、p型クラッド層34、p型コンタクト層36によって構成されている。

【0023】

基板22は、サファイア(Al_2O_3)の他、スピネル(MgAl_2O_4)、 SiC 、 ZnS 、 ZnO 、 GaAs 、 GaN 等の、窒化物半導体を成長するのに適した材料で形成することがよい。バッファ層24は、例えば GaN 、 AlN 、 GaAlN 、 SiC 等で形成することがよい。基板22と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために、例えば約5nm～1μmの膜厚で形成するとよい。なお、窒化物半導体と格子定数が近い基板22や、格子定数が一致した基板22を用いる場合にはバッファ層24を形成しなくても構わない。基板22の裏面は、出射面21となっている。

【0024】

n型コンタクト層26は、例えばn型 GaN 層、好ましくは Si をドーピングしたn型 GaN 層であることがよく、これらの層にさらにアンドープの窒化物半導体層を含んでいてもよい。n型クラッド層30は、n型 AlGaN 層、好ましくは Si をドーピングしたn型 AlGaN 層であることがよい。

【0025】

活性層32は、単一量子井戸(SQW:Single-Quantum-Well)構造又は多重量子井戸(MQW:Multi-Quantum-Well)構造とすることが好ましい。量子井戸構造にすると、高出力な発光素子が得られる。単一量子井戸構造は、 $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ ($0 \leq X < 1$) で構成することが好ましい。多重量子井戸構造では、井戸層は $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ で構成し、障壁層は $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($Y < X$, $Y =$

0を含む)で構成することが好ましい。

【0026】

p型クラッド層34は、例えばAlGaIn層、好ましくはMgをドーピングしたp型AlGaIn層で形成することがよい。p型コンタクト層36は、例えばp型GaIn、好ましくはMgをドーピングしたp型GaInで形成することがよく、これらの層にさらにアンドープの窒化物半導体層を含んでもよい。p型コンタクト層36はp電極38と接する層であるので、オーミック接触を得ることが重要である。

【0027】

p電極38は、活性層32からの光を反射する反射鏡としての役割も果たす。p電極38は、反射鏡としての役割を果たすという点を考慮に入れると、Ni、Ni/Au、Ni/Ti、Ni/Pt等の材料で形成することがよい。

反射鏡(p電極)38と活性層32の中心の間隔dは、 $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の±約10%以内の値(λ :活性層32から出射される光の波長、 n :活性層32と反射鏡38の間にあるp型クラッド層34とp型コンタクト層36の平均の屈折率、 k :整数)に設定されている。発光ダイオードのスペクトルの広がりを考慮すると、間隔dは、 $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ から±約10%の差があっても、間隔dを $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ とした場合とほぼ同様に高い指向性を得られる。より指向性を高めるには、間隔dは、好ましくは活性層32の中心から $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の±5%以内の値、より好ましくは活性層32の中心から $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の±3%以内の値に設定されていることがよい。

n電極28は、Ti/Al、Ti/Mo、Hf/Al、Hf/Au等の材料で形成することがよい。

レンズ20は、各種の樹脂材料や、ガラス等によって形成することがよい。

【0028】

図2の平面図に示すように、p電極38は円形状に形成されている。n電極28はそのp電極38を取囲むように輪状に形成されている。輪状のn電極28の内周及び外周は、円形状のp電極38と相似形となっている。p電極38とn電

極 2 8 の中心位置は等しい。この構成によると、活性層 3 2 (p 電極 3 8) に流れる電流分布の非対称的な偏りをほぼ生じないようにすることができる。

【 0 0 2 9 】

本実施形態の発光ダイオードでは、図 1 に示すように、活性層 3 2 を挟んだ両側の位置のうち、出射面 2 1 が形成された側と反対側の位置に反射鏡 3 8 が形成されている。よって、活性層 3 2 の一方の側から出射した光と、活性層 3 2 の他方の側から出射し、反射鏡 3 8 で反射した光との重ね合わせが生じる。ここで、活性層 3 2 の他方の側から出射した光は、反射鏡 3 8 で反射されるときに位相が π 変化するから、光路差 $2 n d = k \lambda + \lambda / 2$ のとき、即ち、活性層 3 2 と反射鏡 3 8 の間隔 $d = (k \lambda / 2 + \lambda / 4) / n$ のときに、出射光と反射光は干渉によって最も強め合うようになる。なお、 λ 、 n 、 k の定義は先に述べた通りである。図 3 に、 $d = (k \lambda / 2 + \lambda / 4) / n$ において $k = 0$ としたとき、即ち、 $d = \lambda / (4 n)$ のときの出射光 A 1 と反射光 B 1 の関係を示す。この場合、出射光 A 1 と反射光 B 1 が干渉によって最も強め合うことがわかる。

【 0 0 3 0 】

これに対し、仮に、光路差を $2 n d = k \lambda$ 、即ち、活性層 3 2 の中心と反射鏡 3 8 の間隔を $d = (k \lambda / 2) / n$ としたとすると、出射光と反射光は干渉によって最も弱め合うようになる。図 4 に、 $d = (k \lambda / 2) / n$ において $k = 1$ としたとき、即ち、 $d = \lambda / (2 n)$ のときの出射光 A 2 と反射光 B 2 の関係を示す。この場合、出射光 A 2 と反射光 B 2 が干渉によって最も弱め合うことがわかる。

【 0 0 3 1 】

そこで、本実施形態の発光ダイオードでは図 5 に示すように、光路差を $2 n d = k \lambda + \lambda / 2$ 、即ち、活性層 3 2 の中心と反射鏡 3 8 の間隔を $d = (k \lambda / 2 + \lambda / 4) / n$ に設定している。これにより、活性層 3 2 の一方の側から垂直に出射した光は、活性層 3 2 の他方の側から垂直に出射した光の反射鏡 3 8 による反射光と干渉によって強め合う。一方、活性層 3 2 の一方の側から所定の出射角 θ で斜めに出射した光は、活性層 3 2 の他方の側から所定の出射角 θ で斜めに出射し、反射鏡 3 8 で反射した光と干渉によって弱め合う。

この結果、従来の発光ダイオードに比べて、出射面 2 1 からの出射光の広がりを大幅に狭めることができ、指向性を大幅に高めることができる。

【 0 0 3 2 】

図 6 に、活性層 3 2 の中心と反射鏡 3 8 の間隔 d をパラメータとしたときの出射光の広がり角に対する光強度分布を示す。図 6 の $d = 52 \text{ nm}$ 、 260 nm 、 468 nm は、 $d = (k\lambda / 2 + \lambda / 4) / n$ の式においてそれぞれ、 $k = 0$ 、 2 、 4 としたときの値である。なお、 λ は 520 nm 、 n は 2.5 としている。また、比較のために、コサイン則に従った分布も示す。これらの分布は、広がり角が 0 度のときの光強度の値を揃えて正規化している。実際には、各分布の面積（エネルギー）が等しくなるような関係となっている。

図 6 からわかるように、 $d = 52 \text{ nm}$ 、 260 nm 、 468 nm のいずれの場合も、コサイン則に従った分布に比べて、出射光の広がりが小さくなっており、指向性が高められていることがわかる。また、活性層 3 2 の中心と反射鏡 3 8 の間隔 d を大きくするにつれて、出射光の広がりがさらに小さくなっており、指向性がさらに高められることがわかる。

【 0 0 3 3 】

以上のように、本実施形態の発光ダイオードは、上記のような反射鏡 3 8 を設けることで、指向性が十分に高められている。また、 p 電極 3 8 と n 電極 2 8 の形状が先に述べたような形状となっているので、活性層 3 2（ p 電極 3 8）に流れる電流分布の非対称的な偏りがほぼ生じない。よって、発光ダイオードからの出射光を所定範囲内に入射する割合を向上させることができる。従って、この発光ダイオードによると、図 7 に模式的に示すように、POF 等の光ファイバの入射角の範囲 2 内に入射される出射光 4 の割合を高くすることができる。即ち、POF 等の光ファイバとの結合効率を向上させることができる。

また、本実施形態の発光ダイオードの反射鏡 3 8 は単層の Ni によって形成されている。しかも、この Ni は p 電極も兼用している。よって、シンプルな構造であり、製造が非常に容易であり、安価に製造できる。

【 0 0 3 4 】

このように、本実施形態の発光ダイオードは、POF 等の光ファイバとの結合

効率を高くすることができ、損失が少ないので、POFを用いた短距離の光通信の光源として非常に適している。従って、本実施形態によると、短距離の光通信においては、製造に非常に時間と手間のかかるDBR (Distributed Bragg Reflector) 構造が必要な半導体レーザを用いなくてもよいという有用な効果が得られる。

【0035】

【実施例】

次に、本発明の実施例である緑色発光ダイオードの製造方法について図8～図14を参照して説明する。

まず、図8に示すように、基板の一例であるサファイア基板22上に、バッファ層の一例であるAlN低温バッファ層24、n型コンタクト層の一例であるn型GaN層26、n型クラッド層の一例であるn型AlGaN層30、活性層の一例である多重量子井戸活性層(InGaN及びGaN)32、p型クラッド層の一例であるp型AlGaN層34、p型コンタクト層の一例であるp型GaN層36からなる層構造23を有機金属気相成長法(MOVPE)によって成長させた。このとき、p型AlGaN層34とp型GaN層36の合計を260nmとした。これは、 $d = (k\lambda / 2 + \lambda / 4) / n$ の式で $k = 2$ 、 $\lambda = 520\text{nm}$ 、 $n = 2.5$ として求めた。なお、上記層構造23は、分子線気相成長法(MBE)、ハライド気相成長法(HDVPE)等の気相成長法等によって成長させてもよい。その後、層構造23の最表面部にあるp型GaN層36上に、フォトレジストを塗布した。そして、フォトリソグラフィ技術を用いて、フォトレジストをパターニングして、直径150 μm の円形状の部分だけのフォトレジスト42を残した。この状態が図8に示されている。

【0036】

その後、図8に示すその円形状のフォトレジスト42をマスクとして、そのフォトレジスト42の外側部分のp型GaN層36、p型AlGaN層34、活性層32、n型AlGaN層30をBCl₃とN₂の混合気体を用いてRIE (Reactive Ion Etching) 装置によってエッチングしてメサ状を形成するとともに、コンタクト層であるn型GaN層26を露出させた。その後、円形状のフォトレ

ジスト42を剥離した。この状態が図9の状態である。その後、メサ状の層構造23の表面全体に、シリコン酸化膜(SiO_2 膜)を熱CVD (Chemical Vapor Deposition) 法によって形成した。そして、フォトリソグラフィ技術を用いて、メサ状の層構造23の表面中央部上と表面外側部上のシリコン酸化膜をエッチングした。このようにして、図10に示すように、メサ状の層構造23のうち、メサ段差の部分に露出していたp型Ga_{0.5}N層36、p型Al_{0.5}GaN層34、活性層32、n型Al_{0.5}GaN層30の端面を覆う輪状のシリコン酸化膜40だけを残した。

【0037】

その後、シリコン酸化膜40を含むメサ状の層構造23の表面全体にフォトレジストを塗布した後、図11に示すように、メサ状の層構造23の表面中央部上のフォトレジストのみを除去し、層構造23の表面側部上のフォトレジスト44を残した。その後、図12に示すように、フォトレジスト44を含むメサ状の層構造23の表面全体にNi₃8をスパッタリング法によって蒸着した。その後、図13に示すように、フォトレジスト44を除去することで、その上に蒸着されていたNi₃8も除去し、メサ状の層構造23の表面中央部上に蒸着されたNi₃8のみを残した(リフトオフ法)。このNi₃8は、p電極と反射鏡を兼ねている。その後、上記Ni₃8を形成したのと同様の要領で、リフトオフ法によって、図14に示すように、メサ状の層構造23の表面外側部上にn電極の一例であるTi/Al₂8を形成した。その後、以上のように作成した試料をN₂中500℃で5分アニールし、p型Ga_{0.5}N層36とNi₃8間、及びn型Ga_{0.5}N層26とTi/Al₂8間の界面をアロイ化させてコンタクト性を向上させた。その後、この試料をチップに分離して、予め上記したp電極となるNi₃8とn電極となるTi/Al₂8に接触させる電極が形成された台座にはんだ付けした。

【0038】

以上のようにして製造された発光ダイオードにp電極38とn電極28を通じて電流を流して発光の強度分布を測定したところ、活性層32の層面に垂直な方向を基準とした±20度の範囲に約80%の光量が集中する指向性の高い配光パターンが得られた。

また、この発光ダイオードの出射面 21 に凸レンズ（図 1 の符号 20 参照）を装着し、これにより光の広がり活性層 32 の層面に垂直な方向を基準とした ± 15 度以下に絞って直径 $300\text{ }\mu\text{m}$ の POF に入射したところ、90% 以上の非常に高い結合効率が得られた。

【0039】

また、図 15 に、本実施例の発光ダイオードの概略の発光強度分布を数値化したものを示す。図 15 より、p 電極 38 の下方の活性層では、発光強度分布の非対称的な偏りが生じておらず、p 電極 38 の中心からの径が同じ輪状部では等しい発光強度となるように放射状に変化する分布となっていることが概ねわかる（但し、発光強度の値は 9.5 と 10 の 2 段階のみ表示）。この発光ダイオードからの出射光を POF に入射したところ、同等の面積の矩形電極を備えた従来の発光ダイオードに比べて、POF への入射光量を約 30% 増加させることができた。

【0040】

以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。

【0041】

(1) 上記実施形態では、活性層 32 からの発光をサファイア基板 22 側に出射する構成について説明したが、活性層 32 からの発光をサファイア基板 22 とは反対側に出射する構成としてもよい。この場合、図 16 に示すように、活性層 32 を挟んだ両側の位置のうち、p 電極 39 が形成された側と反対側の位置（図 16 の例ではバッファ層 24 と n 型コンタクト層 26 の間）に反射鏡 25 を形成し、その反射鏡 25 の位置を活性層 32 の中心から $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の $\pm 10\%$ 以内の位置に設定すればよい。この場合、反射鏡 25 の材料としては、例えば、TiN、CoSi 等で形成することが好ましい。

【0042】

(2) 上記実施形態では、反射鏡を p 電極と兼用する構成について説明したが、電極と兼用せずに、反射鏡だけを独立に形成しても勿論よい。例えば、p 型コン

タクト層 36 と p 型クラッド層 34 の間に反射鏡を形成してもよい。この場合、反射鏡の材料としては、例えば、TiN、CoSi 等で形成することが好ましい。

また、製造工程は複雑化するが、反射鏡を、半導体レーザのように半導体多層膜や誘電体多層膜や金属薄膜等からなる DBR (Distributed Bragg Reflector) 構造によって形成してもよい。

【0043】

(3) 上記実施形態では、平面視したときに p 電極 38 が円形状に形成され、n 電極 28 はその p 電極 38 を取囲むように輪状に形成された例について説明したが、例えば図 17 のように p 電極 52 が四角形状で、n 電極 50 がその p 電極 52 を取囲み、両電極 52, 50 の中心位置が等しい構造であってもよい。この場合、図 17 のように n 電極 50 の内周を円形状としたり、外周を六角形状としたりして、四角形状の p 電極 52 と異ならせてもよい。また、例えば図 18 に示すように、平面視したときに、六角形状の p 電極 56 がその六角形と相似形の内周及び外周を持つ n 電極 54 に取囲まれているとともに両電極 56, 54 の中心位置が等しい構造であってもよい。

【0044】

(4) 上記実施例の製造方法に代えて、次のような製造方法で製造してもよい。

まず、上記実施例の製造方法と同様にして図 19 に示す層構造 23 を形成した後、層構造 23 の最表面部にある p 型 GaN 層 36 上に Ni を蒸着し、次いでその Ni 上にフォトレジストを塗布する。そして、フォトリソグラフィ技術を用いて、フォトレジストをパターニングして、直径 150 μ m の円形状の部分だけのフォトレジスト 46 を残す。その後、その円形状のフォトレジスト 46 をマスクとして、そのフォトレジスト 46 の外側部分の Ni を硝酸を用いて溶かし、そのフォトレジスト 46 と同心の円形状の部分だけの Ni 38 を残す。その後、円形状のフォトレジスト 46 をマスクとして、上記製造方法と同様にして図 20 に示すようなメサ形状を形成するとともに、コンタクト層である n 型 GaN 層 26 を露出させる。そして、円形状の Ni 38 上のフォトレジスト 46 を剥離する。その後、上記製造方法と同様に、リフトオフ法によって図 21 に示すように、メサ

状の層構造 2 3 の表面外側部上に T i / A l 2 8 を形成する。

【 0 0 4 5 】

また、本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態の発光ダイオードの概略断面図を示す。

【図 2】 本発明の実施形態の発光ダイオードの概略平面図を示す。

【図 3】 活性層からの出射光と反射鏡での反射光の干渉の状態の説明図を示す (1) 。

【図 4】 活性層からの出射光と反射鏡での反射光の干渉の状態の説明図を示す (2) 。

【図 5】 活性層からの出射光と反射鏡での反射光の干渉の状態の説明図を示す (3) 。

【図 6】 活性層の中心と反射鏡の間隔をパラメータとしたときの出射光の広がり角に対する光強度分布を示す。

【図 7】 本発明の実施形態の発光ダイオードの模式的な放射強度分布を示す。

【図 8】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (1) 。

【図 9】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (2) 。

【図 1 0】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (3) 。

【図 1 1】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (4) 。

【図 1 2】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (5) 。

【図 1 3】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (6) 。

【図 1 4】 本発明の実施例の発光ダイオードの製造工程の一部を示す (7) 。

【図 1 5】 本発明の実施例の発光ダイオードの概略の発光強度分布を示す。

【図 1 6】 本発明の他の実施形態の発光ダイオードの概略断面図を示す。

【図 1 7】 本発明のさらに他の実施形態の発光ダイオードの概略平面図を示す

(1)。

【図 1 8】 本発明のさらに他の実施形態の発光ダイオードの概略平面図を示す

(2)。

【図 1 9】 本発明の実施例の発光ダイオードの他の製造方法による製造工程の一部を示す (1)。

【図 2 0】 本発明の実施例の発光ダイオードの他の製造方法による製造工程の一部を示す (2)。

【図 2 1】 本発明の実施例の発光ダイオードの他の製造方法による製造工程の一部を示す (3)。

【図 2 2】 発光ダイオードの出射光の分布を示す。

【図 2 3】 従来の発光ダイオードの概略平面図を示す。

【図 2 4】 従来の発光ダイオードの概略の発光強度分布を示す。

【図 2 5】 従来の発光ダイオードの概略の放射強度分布を示す。

【符号の説明】

2 0 : レンズ

2 1 : 出射面

2 2 : 基板

2 3 : 層構造

2 4 : バッファ層

2 6 : n 型コンタクト層

2 8 : n 電極

3 0 : n 型クラッド層

3 2 : 活性層

3 4 : p 型クラッド層

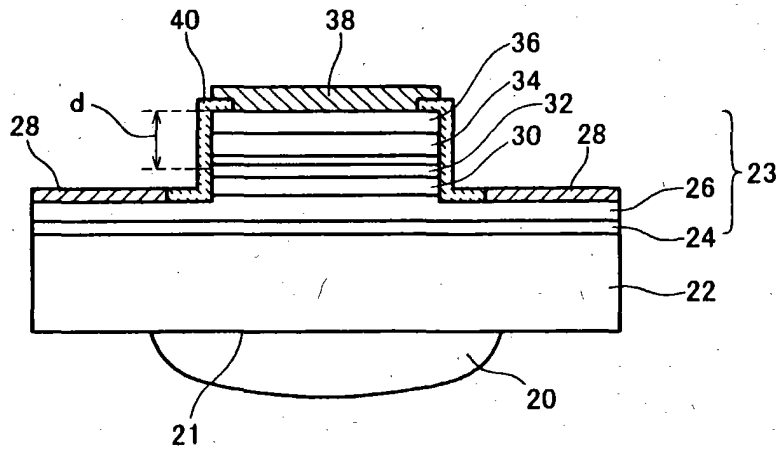
3 6 : p 型コンタクト層

3 8 : p 電極 (反射鏡)

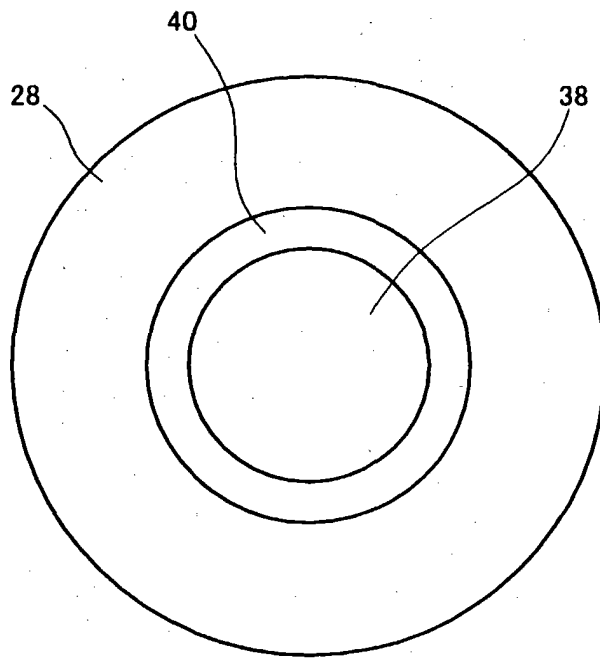
4 0 : シリコン酸化膜

【書類名】 図面

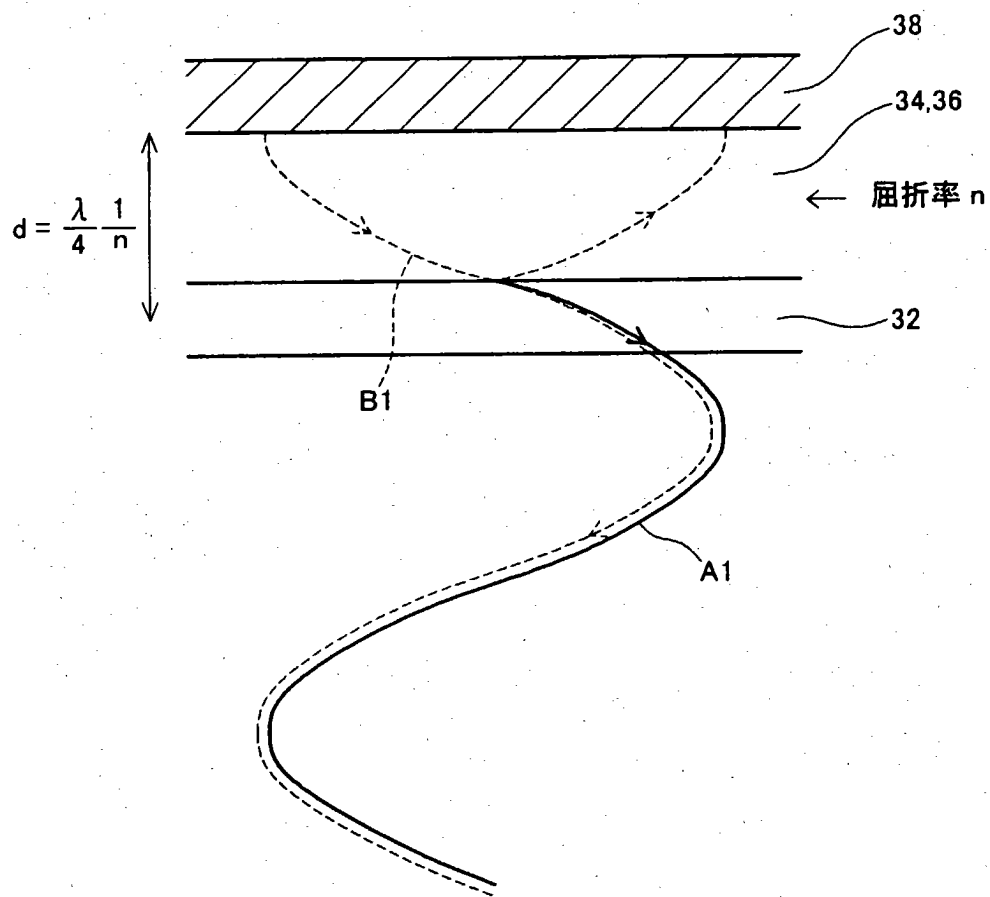
【図 1】



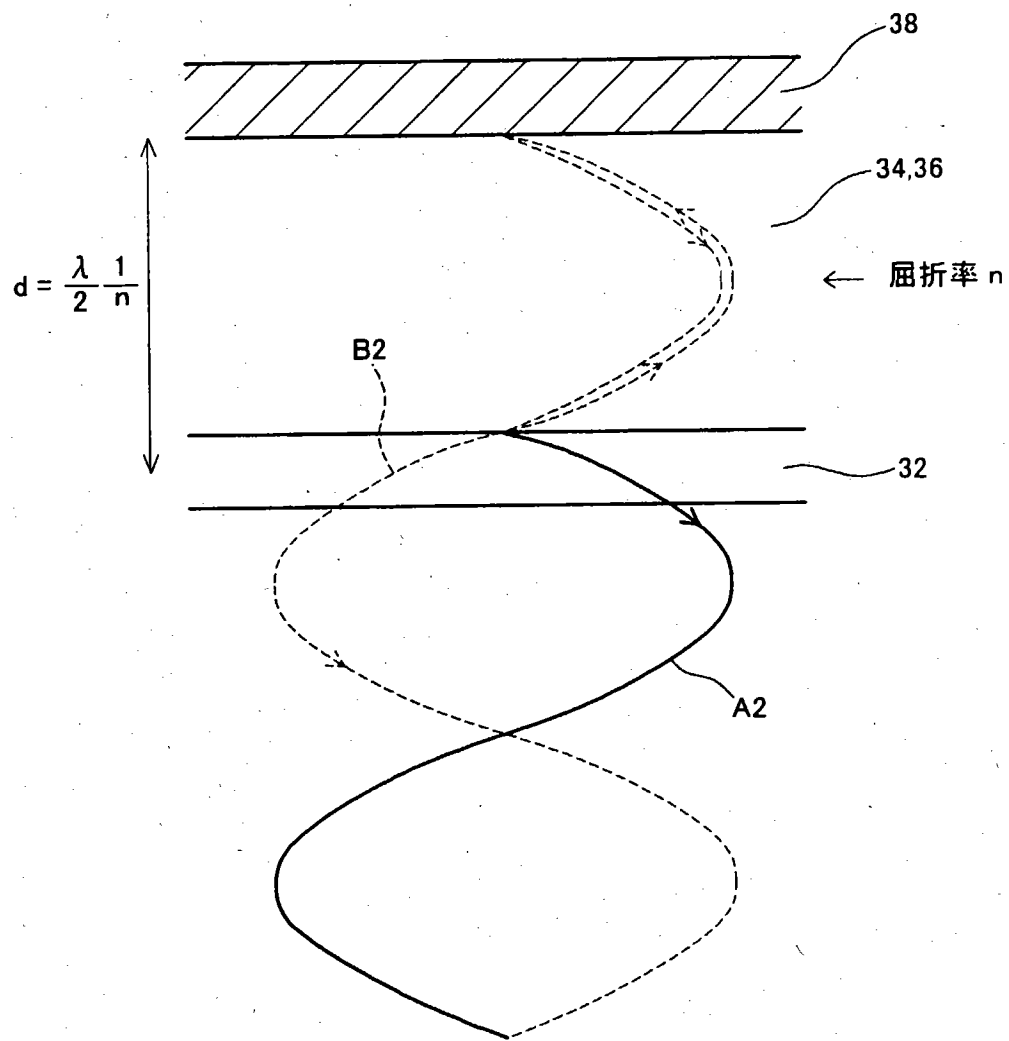
【図 2】



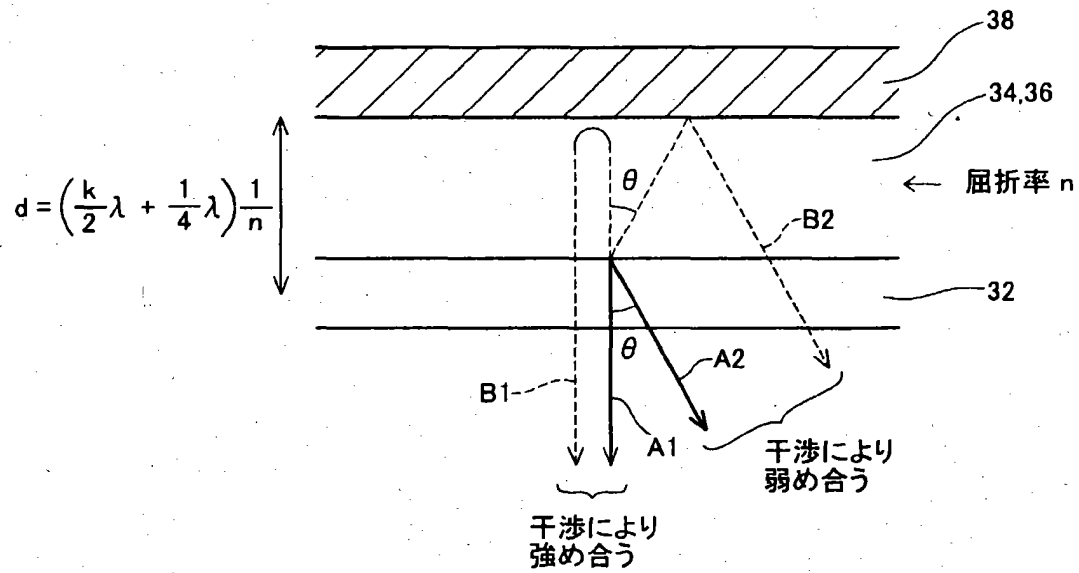
【図3】



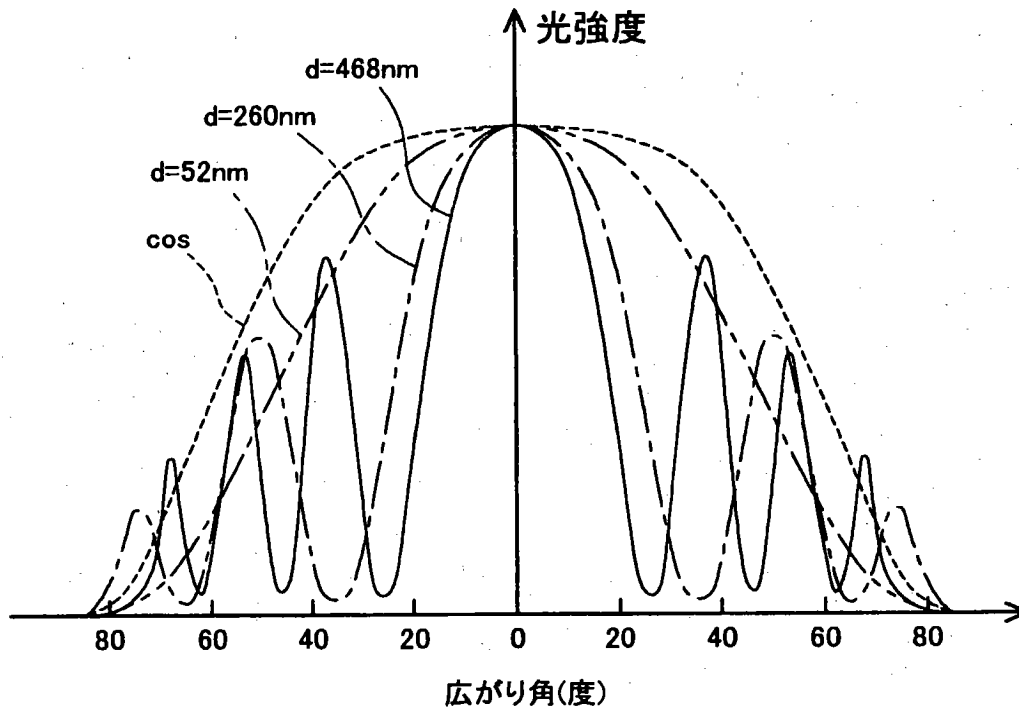
【図 4】



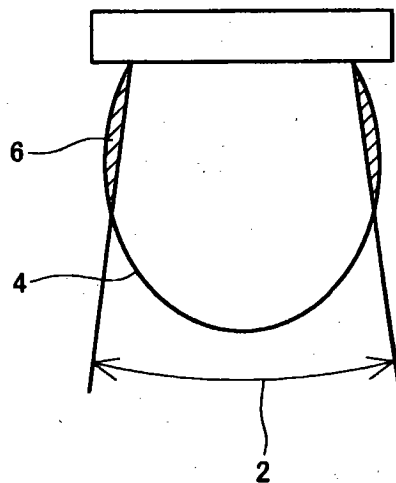
【図 5】



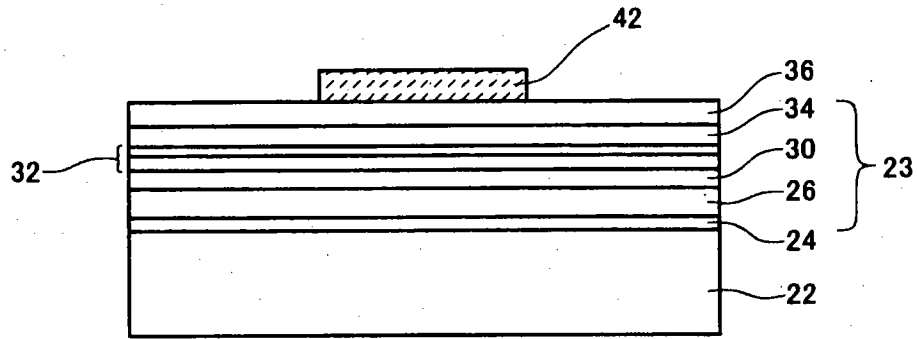
【図 6】



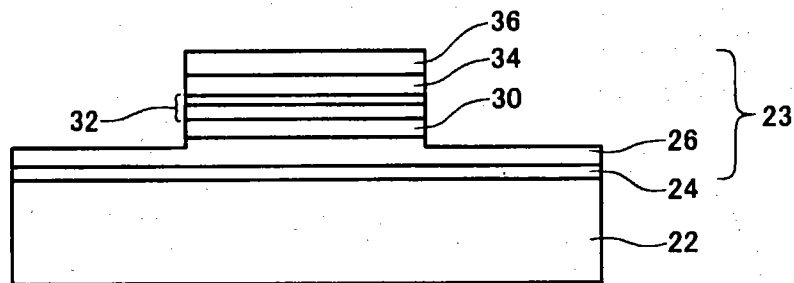
【図 7】



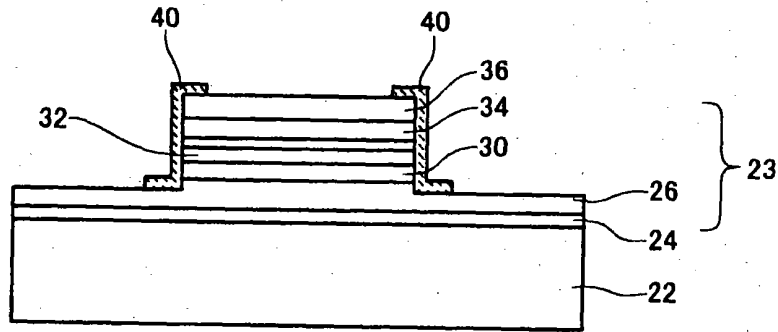
【図 8】



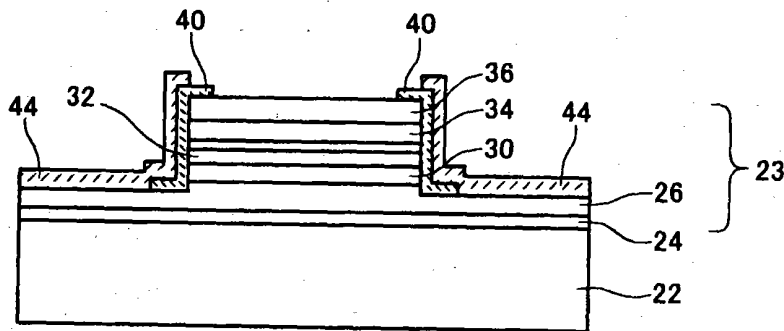
【図 9】



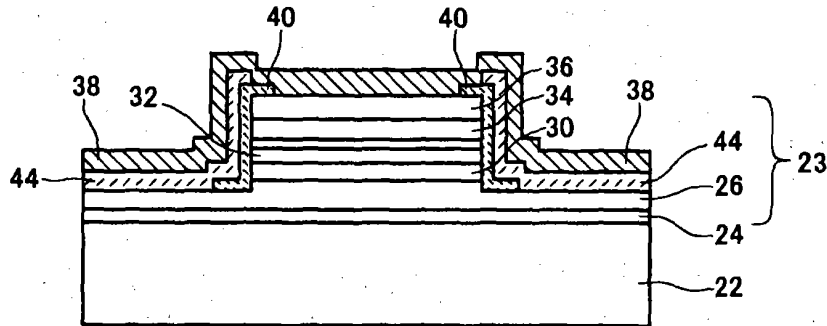
【図 10】



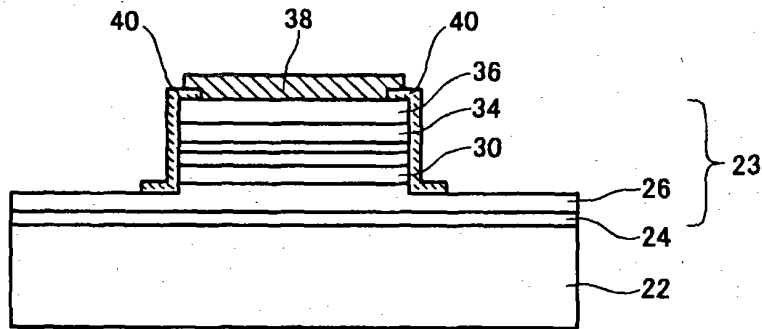
【図 11】



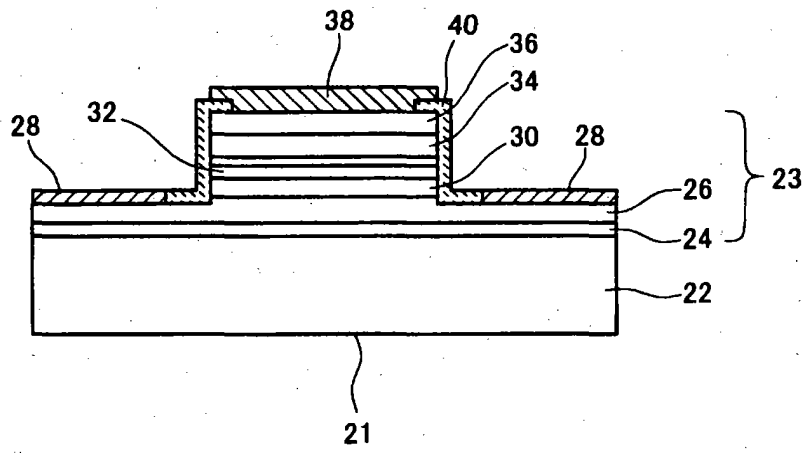
【図 1 2】



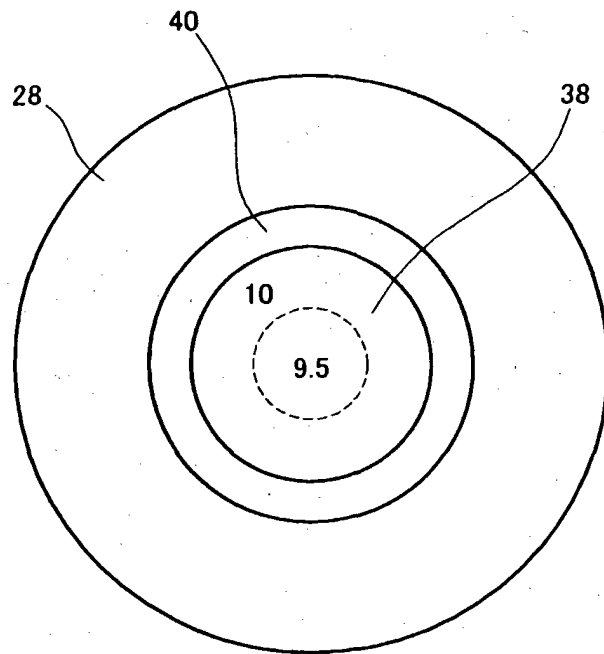
【図 1 3】



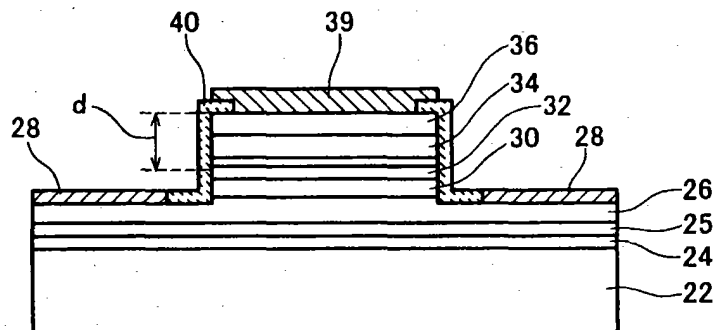
【図 1 4】



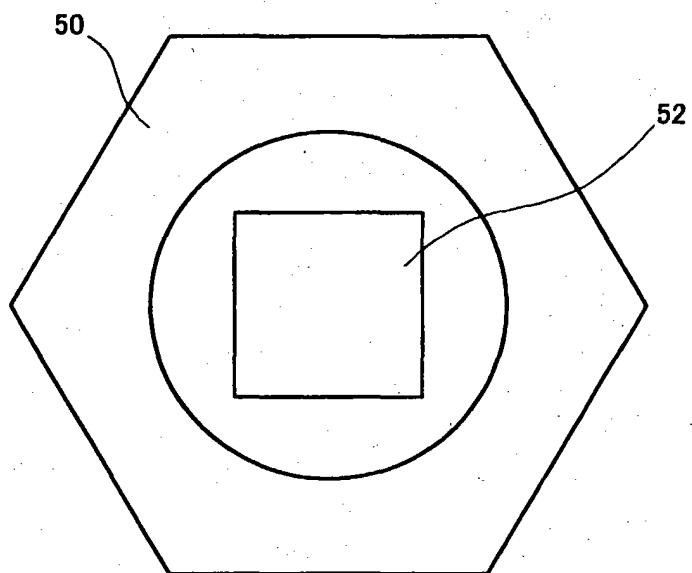
【図 1 5】



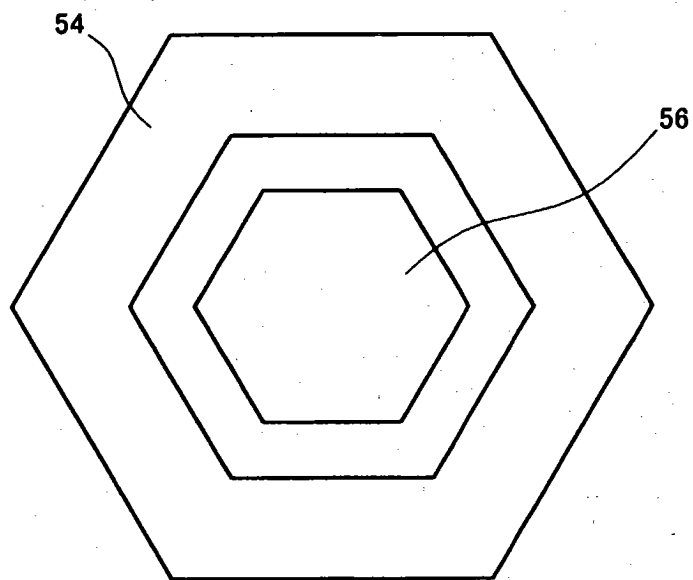
【図 1 6】



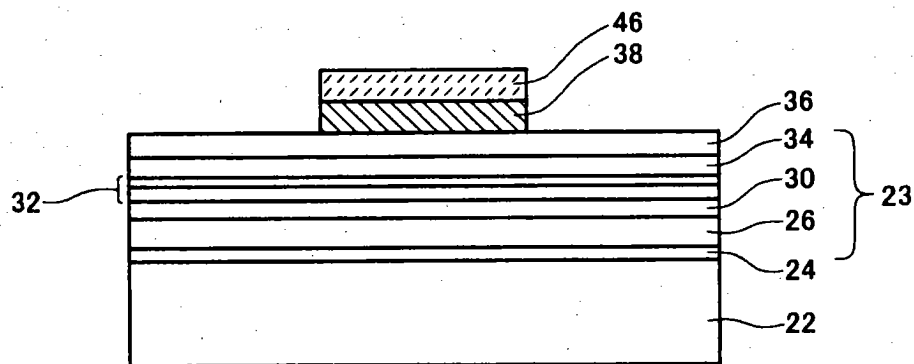
【図 1 7】



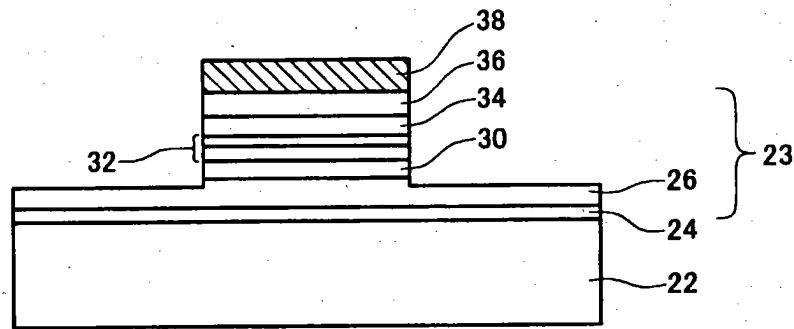
【図18】



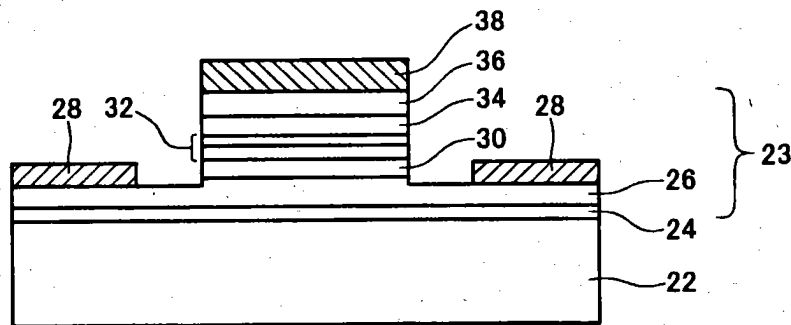
【図19】



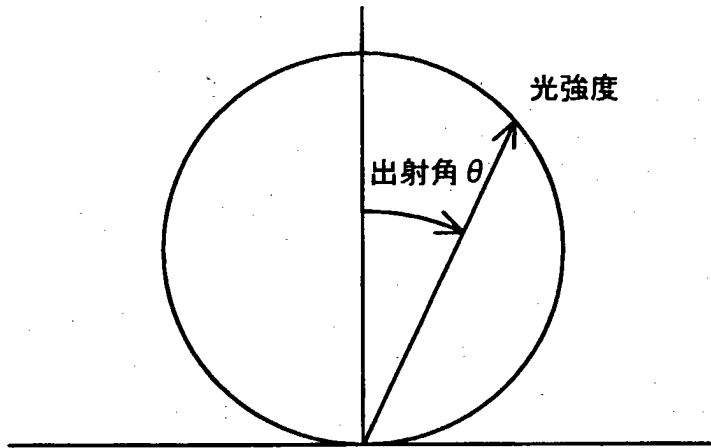
【図 20】



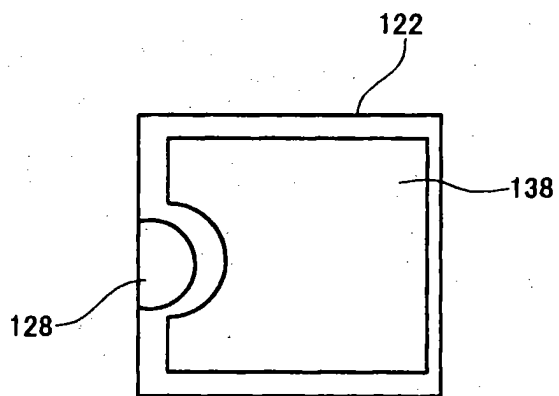
【図 21】



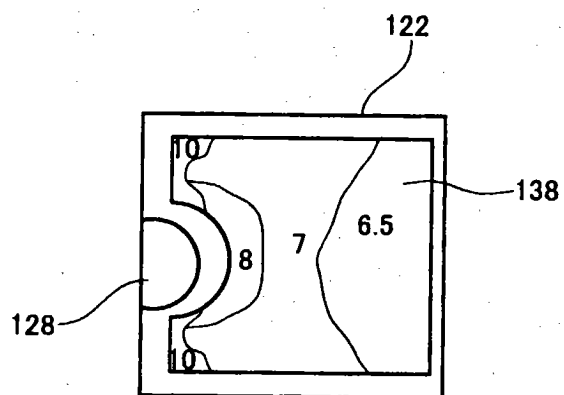
【図 2 2】



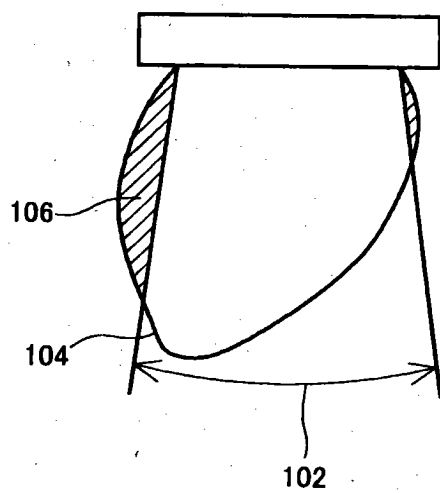
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 窒化物半導体発光素子からの出射光を所定範囲内に入射する割合を向上させることができる技術を実現する。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体からなる活性層 3 2 と、出射部 2 1 を備えている。活性層 3 2 を挟んだ両側の位置のうち、出射部 2 1 が形成された側と反対側の位置のみに反射鏡 3 8 が形成されている。

その反射鏡 3 8 は、活性層 3 2 の中心から概ね $(k\lambda/2 + \lambda/4)/n$ の位置 (λ : 活性層 3 2 から出射される光の波長、 n : 活性層 3 2 と反射鏡 3 8 の間の領域の平均の屈折率、 k : 整数) に形成されている。

この発光素子によると、指向性が十分に高められ、POF等の光ファイバへの結合効率を向上させることができるという効果が得られる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003609]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

氏 名 株式会社豊田中央研究所